

بررسی ایزوترم و سینتیک جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی توسط نانوتیوب‌های کربنی چند جداره

سیده پروین موسوی^۱، محمد مهدی امام جمعه^{۲*}

^۱ پردیس بین‌الملل، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران؛ ^۲ مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت،

دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۱۴

چکیده:

زمینه و هدف: رنگ‌ها مواد آلی سمی با ساختار پیچیده ای هستند که از مهمترین آلاینده‌های فاضلاب نساجی محسوب می شوند. این مطالعه با هدف بررسی امکان‌سنجی استفاده از نانوتیوب‌های کربنی چندجداره به عنوان جاذب در جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی و بررسی ایزوترم و سینتیک جذب انجام شد. **روش بررسی:** این مطالعه تجربی به صورت ناپیوسته انجام و اثر پارامترهای زمان تماس، pH، شدت اختلاط، غلظت اولیه رنگ و دوز نانوتیوب در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ بررسی شد. داده‌های تجربی تعادل جذب با مدل‌های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر ارزیابی شدند و مدل‌های مختلف ایزوترم و سینتیک جذب نیز از طریق مقایسه ضریب تعیین کل تعداد نمونه ها به وسیله نرم افزار Excel، مورد تحلیل قرار گرفتند. **یافته‌ها:** در شرایط بهینه، حداکثر ظرفیت جذب سطحی رنگ راکتیو آبی ۱۹ بر روی نانوتیوب‌های کربنی چند جداره، ۷/۵۴۶ میلی گرم بر گرم بود. حداکثر جذب رنگ در ۶۰ دقیقه اول و زمان مناسب دستیابی به حالت تعادل، ۳ ساعت بدست آمد. با افزایش دوز جاذب از ۰/۰۴ به ۰/۰۸ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر راندمان حذف برای محلول رنگ راکتیو آبی ۱۹ با غلظت اولیه ۲۵ میلی گرم در لیتر از ۶۹/۳ به ۸۹/۵ درصد افزایش یافت. با کاهش غلظت اولیه رنگ از ۷۵ به ۲۵ میلی گرم در لیتر در pH بهینه (pH=۴) و زمان تعادل، راندمان حذف از ۸۰/۵ به ۸۹/۵ درصد افزایش یافت. **نتیجه‌گیری:** به دلیل اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای منحصر به فرد، واکنش‌پذیری بسیار زیاد و عملکرد قابل توجه نانوتیوب‌های کربنی چند جداره به عنوان جاذب در حذف آلاینده‌های آلی از محلول‌های آب، این جاذب می‌تواند جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ بسیار مؤثر باشد. **واژه های کلیدی:** نانوتیوب‌های کربنی چند جداره، جذب سطحی، رنگ راکتیو آبی ۱۹، ایزوترم.

مقدمه:

نساجی از ۲ درصد برای رنگ‌های پایه و ۵۰ درصد برای رنگ‌های راکتیو متغیر است (۴،۳). عمدتاً مواد رنگزا دارای یک یا چند حلقه بنزنی می‌باشند که به دلیل سمی بودن و دیر تجزیه بودن، چنانچه بدون تصفیه وارد محیط شوند، می‌توانند صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد کنند (۲). به عنوان مثال نفوذ رنگ‌های متفاوت به آب‌های سطحی و زیرزمینی باعث رنگی شدن منابع آبی

صنایع نساجی و رنگرزی، یکی از بزرگترین صنایع مصرف کننده آب می‌باشند. میزان مصرف آب در این صنایع با توجه به نوع فرآیند تولید، بین ۲۵۰-۲۵ متر مکعب به ازاء هر تن محصول است (۱). مواد رنگزای مختلفی در صنایع استفاده می‌شود که معمول ترین آن ها رنگ‌های گروه آزو می‌باشند (۲). این رنگ ها از طریق پساب خروجی این صنایع دفع می شوند و مقدار رنگ ورودی به پساب خروجی

می‌شود (۴،۳). همچنین رنگ‌ها می‌تواند باعث آلرژی، درماتیت، سوزش پوست و سرطان در انسان شوند (۵).

رنگ‌ها دارای ماهیت غیر قابل تجزیه بیولوژیک و مقاوم هستند، بنابراین سیستم‌های متداول تصفیه بیولوژیک فاضلاب دارای کارایی مناسبی در حذف رنگ نمی‌باشند (۶). رنگ‌های سنتتیک ممکن است در اثر تجزیه به محصولات سمی تبدیل گردند. همچنین رنگ‌های راکتیو حلالیت بالایی در آب داشته و در محیط پخش شده و به عنوان آلاینده زیست محیطی محسوب می‌گردند (۷،۸). روش‌های فیزیکی- شیمیایی متنوعی همچون انعقاد- لخته‌سازی، فیلتراسیون غشایی، اکسیداسیون شیمیایی، اولترافیلتراسیون و جذب برای حذف رنگ‌های مختلف از فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته اند (۹،۱۰). با این حال روش‌های تصفیه متداول فاضلاب که وابسته به جذب و تجزیه هوازی هستند، برای حذف کامل بعضی از رنگ‌های راکتیو ناکافی می‌باشند (۱۱) و همچنان نیاز به استفاده از روش‌های جدیدتر و موثر تر احساس می‌گردد.

در بین روش‌های فیزیکی- شیمیایی مختلف، فرآیند جذب مؤثرترین فرآیند شناخته شده می‌باشد. مزایای این فرآیند در مقایسه با دیگر فرآیندهای جداسازی، سادگی در بهره‌برداری و ارزان بودن است (۱۲،۱۳). در این روش استفاده از کربن فعال مؤثر می‌باشد زیرا کربن فعال یکی از بهترین جاذب‌ها می‌باشد ولی علیرغم مؤثر بودن این جاذب، این ماده گران بوده و احیای آن بعد از استفاده مشکل است (۱۱، ۱۳). لذا با توجه به مطالعات گذشته که نانوتیوب‌های کربن، پتانسیل خوبی را در حذف آلاینده‌های آلی و معدنی از خود نشان داده‌اند (۱۴-۱۶)؛ این مطالعه با هدف بررسی کارایی نانوتیوب‌های کربنی چند جداره (Multi-walled carbon nanotubes=MWCNTs)

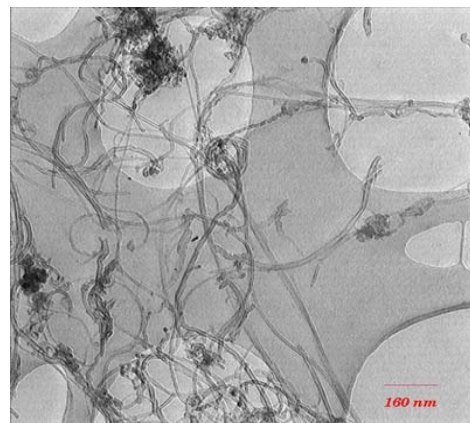
در جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی انجام شده است.

روش بررسی:

این پژوهش مطالعه‌ای تجربی است که در آن قابلیت نانوتیوب‌های کربنی چند جداره در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. رنگ راکتیو آبی ۱۹ مورد استفاده در این پژوهش از شرکت دای استار آلمان، مواد شیمیایی مورد استفاده در انجام آزمایش‌ها از شرکت مرک (Merck) آلمان و نانوتیوب‌های کربنی چند جداره از پژوهشگاه صنعت نفت ایران خریداری شدند. ساختار رنگ مورد استفاده آنتروکوبینون، فرمول شیمیایی آن $C_{22}H_{16}O_{11}N_2S_3Na_2$ ، وزن مولکولی آن $626/5 \text{ g/mol}$ و طول موج حداکثر جذب آن 592 nm بود (۱۷، ۱۸).

در این مطالعه که به صورت ناپیوسته و در شرایط آزمایشگاهی بر روی محلول‌های آبی حاوی غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر رنگ راکتیو آبی ۱۹ انجام شد، کلیه آزمایش‌ها و ساخت محلول‌های استاندارد رنگ بر اساس رهنمودهای کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب (استاندارد متد) انجام پذیرفت (۱۹). برای تهیه محلول سنتتیک از آب دو بار تقطیر دیونیزه شده استفاده شد. جهت بررسی موقعیت قرارگیری گروه‌های عامل در سطح نانوتیوب‌ها از تصویر میکروسکوپ الکترونیکی (Scanning Electron Microscopy= SEM)، جهت بررسی اندازه و ساختار نانوتیوب‌های کربنی تک جداره (Single-walled carbon nanotubes= SWCNTs) از میکروسکوپ الکترونی عبور دهنده (Transmission Electron Microscopy= TEM) و جهت تعیین سطح مخصوص نانوتیوب‌ها از روش بت (Brunauer, Emmett & Teller= BET) استفاده شد (۷) (تصویر شماره ۱). لازم به ذکر است که در این

راستا از داده‌های ارائه شده توسط پژوهشگاه صنعت نفت نیز بهره‌گیری شده است. قطر خارجی MWCNTs، ۳۰-۱۰ نانومتر و قطر داخلی آن ۳/۸ نانومتر بود. همچنین طول آن ۱۰ میکرومتر و سطح مخصوص آن ۲۷۰ متر مربع بر گرم و خلوص نانوتیوب‌های مصرفی ۹۵٪ بوده است.



تصویر شماره ۱: نمای نانوتیوب‌های کربنی چند جداره در میکروسکوپ الکترونی عبور دهنده

در این مطالعه pH محلول‌های رنگی توسط HCl و NaOH (۰/۱ نرمال) تنظیم گردید. شیکر اریتالی (GFL 137) با شدت‌های ۱۴۰، ۱۰۰ و ۱۸۰ دور در دقیقه جهت اختلاط و ایجاد تماس مناسب جاذب و رنگ مورد استفاده قرار گرفت. جداسازی ذرات جاذب از محلول آبی سنتتیک با استفاده از روش فیلتراسیون و فیلتر استات سلولز با منافذ ۰/۲ میکرون (سارتیوس) انجام شد. طول موج ماکزیمم برای رنگ راکتیو آبی ۵۹۱، ۱۹ نانومتر استفاده گردید. سنجش غلظت رنگ با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با غلظت‌های ۱۰، ۷۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر توسط اسپکتروفوتومتر UV/Vis و معادله بهترین خط برازش به دست آمده با ضریب همبستگی مناسب ($R^2=0/999$) انجام شد (۲۰، ۲۱). در ادامه تأثیر فاکتورهای مختلفی نظیر دوز

جاذب، زمان تماس، pH، غلظت اولیه رنگ و شدت اختلاط بر روی میزان جاذب مطالعه گردید. کلیه آزمایش‌ها با دو بار تکرار انجام و در مجموع تعداد نمونه‌ها ۱۱۳۴ نمونه استفاده شد. مقدار رنگ جاذب شده (q_e) بر حسب میلی گرم بر گرم و میزان کارایی حذف (E) بر حسب درصد در هر مرحله توسط روابط زیر تعیین شد:

$$q_e = \frac{V}{M} \times (C_0 - C_e) \quad (1)$$

$$E = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

در این روابط، C_0 و C_e غلظت اولیه و نهایی رنگ در محلول (mg/L) و V حجم محلول و m دوز جاذب (g) می‌باشد.

مدل‌های جاذب فروندلیچ و لانگمویر برای آنالیز معادله جاذب استفاده شدند و جهت تعیین مدل‌های ایزوترمی، دوزهای مختلفی از جاذب (۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) به محلول‌های رنگ با غلظت ۲۵ mg/L اضافه شدند. محلول‌های مورد نظر بر روی شیکر (شدت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) قرار داده شد و بعد از گذشت ۲۴ ساعت، غلظت‌های باقیمانده رنگ به روش اسپکتروفوتتری تعیین مقدار گردید.

در این مطالعه، دو مدل سینتیک درجه اول کاذب و درجه دوم کاذب نیز مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های سینتیک با تغییر زمان تماس (۱۵، ۳۰، ۱۵۰، ۱۲۰، ۹۰، ۶۰ و ۱۸۰ دقیقه و ۲۴ ساعت) و غلظت اولیه رنگ راکتیو آبی (۱۹ و ۲۵ میلی گرم در لیتر) و مقادیر بهینه شده فاکتور دوز جاذب (۰/۰۸ گرم) در pH=۴ انجام شد. راندمان حذف رنگ نسبت به متغیرهای مختلفی مانند دوز جاذب، زمان تماس، pH، غلظت اولیه رنگ و شدت اختلاط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با ثابت نگاه داشتن چند متغیر، راندمان حذف رنگ به وسیله نانوتیوب کربنی چند جداره بر

اساس یک پارامتر متغیر، بررسی شد تا مقدار بهینه متغیرها به دست آید.

در این تحقیق داده‌های تجربی تعادل جذب با مدل‌های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر بررسی شدند. ضریب تعیین برای نشان دادن این موضوع که تا چه اندازه معادله رگرسیونی نمونه‌ها، داده‌ها را به نیکویی برازش می‌کند، استفاده گردید و مدل‌های مختلف ایزوترم و سینتیک جذب از طریق مقایسه ضریب تعیین (R^2) کل تعداد نمونه‌ها به وسیله نرم افزار Excel، مورد تحلیل قرار گرفتند.

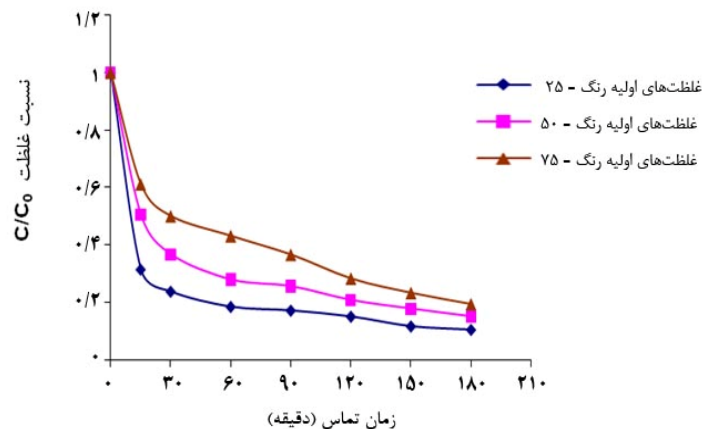
یافته‌ها:

در این مطالعه که در سیستم ناپیوسته انجام شد راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی به متغیرهای دوز جاذب، زمان تماس، pH، غلظت اولیه رنگ و شدت اختلاط بستگی داشت.

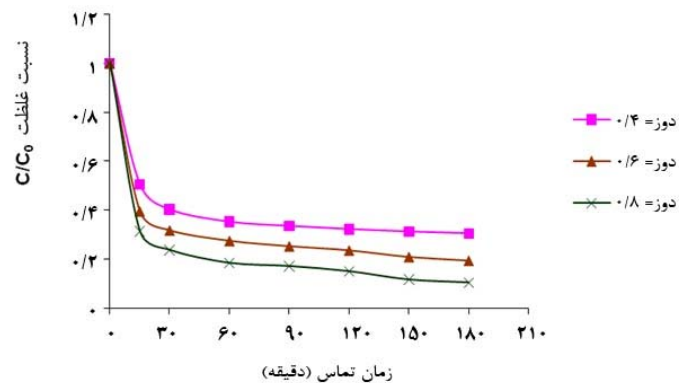
بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ در راندمان حذف نشان داد که راندمان حذف رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ، کاهش می‌یابد و q_e با افزایش غلظت اولیه رنگ، افزایش خواهد یافت (نمودار شماره ۱).

افزایش جذب با افزایش زمان تماس تا رسیدن به زمان تعادل واکنش اتفاق افتاد. حداکثر جذب در ۶۰ دقیقه اول صورت گرفته است؛ لذا زمان بهینه در حد ۶۰ دقیقه گزارش شده است و زمان تعادل برای واکنش جذب، ۱۸۰ دقیقه حاصل گردید و بعد از این زمان، میزان جذب بسیار کم بوده است.

تغییرات غلظت رنگ در مقابل زمان در دوزهای مختلف جاذب نشان داد که مقدار قابل توجهی از رنگ توسط دوز ۰/۸ گرم بر لیتر نانوتیوب‌های کربنی چند جداره حذف گردیده است. در نتیجه دوز ۰/۸ گرم در لیتر به عنوان دوز بهینه مورد استفاده واقع شد (نمودار شماره ۲).



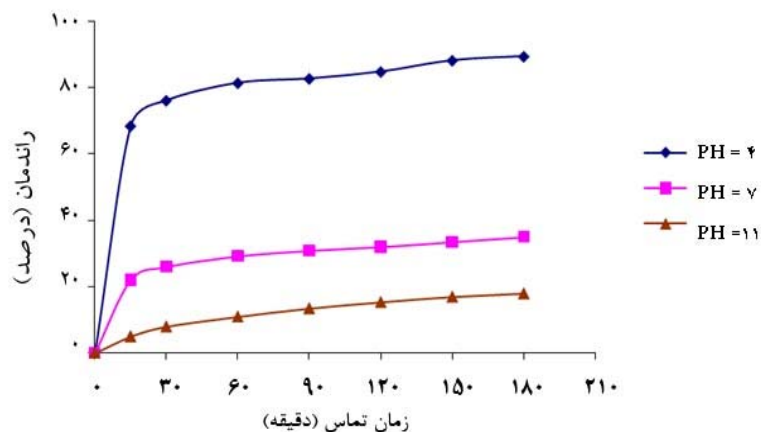
نمودار شماره ۱: تغییرات غلظت رنگ راکتیو آبی ۱۹ نسبت به زمان با دوز ۰/۸ گرم در لیتر نانوتیوب کربنی چند جداره (غلظت‌های اولیه رنگ ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر)



نمودار شماره ۲: تغییرات غلظت رنگ راکتیو آبی ۱۹ نسبت به زمان در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر رنگ (دوزهای ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ گرم در لیتر نانوتیوب کربنی چند جداره)

نتایج نشان داد که سینتیک حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با فرآیند جذب توسط نانوتیوب های کربنی چند جداره، یک واکنش درجه دوم کاذب می باشد. با توجه به نتایج حاصل از معادلات ایزوترمی، ایزوترم جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ روی نانوتیوب های کربنی چند جداره از ایزوترم فروندلیچ ($R^2=0.961$) تبعیت می کرد.

بررسی تغییرات غلظت رنگ نسبت به شدت اختلاط نشان داد که با افزایش شدت اختلاط از ۱۰۰ به ۱۸۰ دور در دقیقه، راندمان جذب از ۷۰/۷ به ۸۹/۵ درصد افزایش می یابد. همچنین بررسی راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ نسبت به زمان با دوز ۰/۸ گرم در لیتر نانوتیوب کربنی چند جداره نشان داد که pH برابر ۴ در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ نسبت به pH های ۷ و ۱۱ مؤثرتر عمل می نماید. با افزایش pH از ۴ به ۱۱ راندمان حذف بین ۸۹/۵ تا ۱۸ درصد کاهش نشان داد (نمودار شماره ۳).



نمودار شماره ۳: راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ نسبت به زمان با دوز ۰/۸ گرم در لیتر نانوتیوب کربنی چند جداره (pH برابر ۴، ۷ و ۱۱ و غلظت اولیه رنگ ۲۵ میلی گرم بر لیتر)

بحث:

در این مطالعه که با هدف بررسی کارایی نانوتیوب‌های کربنی چند جداره در جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی انجام شد، کاربرد نانوتیوب‌های کربنی چند جداره جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ بسیار مؤثر واقع شد و استفاده از آن به منظور حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ تأیید گردید.

در این مطالعه مقدار رنگ جذب شده بر روی نانوتیوب‌های کربنی با افزایش غلظت اولیه رنگ، افزایش یافت. این یافته با نتایج دیگر تحقیق که در آن نیز مقدار مواد آلی طبیعی جذب شده بر روی نانوتیوب‌های کربنی با افزایش غلظت اولیه ماده آلی طبیعی و قدرت یونی محلول افزایش یافت (۲۲) مطابقت دارد. همچنین در مطالعه حاضر با افزایش زمان تماس جذب سطحی بیشتر شد که این یافته نیز با یافته‌های مدرکیان و همکاران مطابقت نشان داد (۲۳). احتمالاً این افزایش جذب سطحی به دلیل افزایش برخورد مولکول‌های رنگ با سطح نانوتیوب‌های کربنی بوده است (۲۴).

افزایش جذب نشان داده شده با دوز جاذب در مطالعه حاضر می‌تواند به خاطر افزایش سطح جاذب و میزان دسترسی بیشتر به مکان‌های جذب باشد (۲۵). Machado و همکاران در سال ۲۰۱۱ در زمینه جذب رنگ راکتیو قرمز M-2BE از محلول‌های آبی، از نانوتیوب‌های کربنی چند جداره استفاده نمودند و آن‌ها نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۶). اما در مطالعه‌ای که Wu در سال ۲۰۰۷ در زمینه جذب رنگ راکتیو روی نانوتیوب‌های کربنی انجام داد نتیجه متفاوتی حاصل شد؛ در مطالعه Wu با افزایش دوز جاذب، q_e افزایش نشان داد (۲۷).

در این مطالعه همچنین نشان داده شد که کارایی حذف رنگ در pH بالاتر از ۴ کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج مطالعه Lu و Su مطابقت داشت (۲۲) ولی با نتایج دیگر مطالعه که در آن با افزایش pH

محلول از ۳ به ۱۰، جذب رنگ افزایش یافت مطابقت نداشت (۲۸). در واقع علت کاهش کارایی جذب با افزایش pH، یونیزاسیون جاذب و جذب‌شونده بود که باعث ایجاد نیروی دافعه و کاهش کارایی جذب گردید. این‌گونه به نظر می‌رسد که گروه‌های عاملی اکسیژنی بر روی سطوح نانوتیوب‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند و در pH بیشتر از ۴ باعث افزایش پیوند میان گروه‌های OH روی سطوح نانوتیوب شده و به آن بار منفی می‌دهند.

نمودارهای سینتیک درجه اول کاذب و درجه دوم کاذب به منظور تعیین سرعت و درجه واکنش حذف رنگ، رسم می‌گردد و شیب خط مربوط نشان دهنده ثابت سرعت واکنش حذف رنگ است. نتایج نشان داد که سینتیک حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با فرآیند جذب توسط نانوتیوب‌های کربنی چند جداره، یک واکنش درجه دوم کاذب بود احرامپوش و همکاران در سال ۱۳۹۱ توسط نانوتیوب‌های کربنی چند جداره، اسید هیومیک را حذف کردند نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که داده‌ها از واکنش درجه دوم کاذب تبعیت می‌کرد (۲۹). نتایج مطالعه آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت.

ایزوترم‌های جذب معادلاتی بر تشریح حالت تعادل بخش جذب‌شونده بین فاز جامد و سیال است. در این تحقیق داده‌های تجربی تعادل جذب با مدل‌های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج حاصل از معادلات ایزوترمی، ایزوترم جذب رنگ راکتیو آبی ۱۹ روی نانوتیوب‌های کربنی چند جداره، از ایزوترم فروندلیچ تبعیت نمود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج تحقیق خرم‌فر و همکاران در سال ۱۳۸۸ مطابقت داشت. در مطالعه آن‌ها نیز که در زمینه رنگبری پساب رنگی نساجی توسط جاذب طبیعی پوسته تمر هندی انجام شد واکنش جذب از مدل ایزوترمی فروندلیچ تبعیت کرد (۳۰).

نتیجه گیری:

در نتیجه واکنش پذیری بسیار زیاد و عملکرد قابل توجه نانوتیوب های کربنی چند جداره به عنوان جاذب در حذف آلاینده های آلی از محلول های آب، این جاذب می تواند جهت حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ مؤثر باشد. با این حال این مطالعه در مقیاس پایلوت و آزمایشگاهی انجام شده و برای کاربردهای صنعتی نیاز به مطالعات بیشتر و جامع تر در مقیاس نیمه صنعتی و بزرگتر دارد.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان لازم می دانند از همکاران محترم آزمایشگاه و گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی یزد که در انجام این طرح ما را یاری نموده اند، تشکر و قدردانی نمایند.

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش دوز جاذب، راندمان افزایش و q_e کاهش می یابد. همچنین راندمان حذف رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ، کاهش و q_e با افزایش غلظت اولیه رنگ، افزایش نشان می دهد. همچنین با افزایش زمان تماس از ۱۵ به ۱۸۰ دقیقه، راندمان افزایش یافت ولی چون حداکثر جذب در ۶۰ دقیقه اول بوده بنابراین زمان ۶۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه جذب در نظر گرفته شد. علاوه بر این با افزایش شدت اختلاط راندمان افزایش یافت و بیشترین میزان حذف در ۱۸۰ دور در دقیقه بدست آمد. سینتیک واکنش نیز با معادله درجه دوم کاذب توصیف شد و ایزوترم جذب از مدل فروندلیچ تبعیت نمود. در کل این مطالعه نشان داد که به دلیل اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه ای منحصر به فرد و

منابع:

1. Ehrampoush MH, Moussavi SP, Ghaneian MT, Tahghighi M, Ghanizadeh GH. The evaluation of efficiency of Bone chars in Acidic Orange 7 dye removal in acidic conditions from aqueous solution. The 14 th congress of Environmental Health, Yazd, Aban 1390.
2. Jiraratananon R, Sungpet A, Luangsowan P. Performance evaluation of nanofiltration membranes for treatment of effluents containing reactive dye and salt. Desalination. 2000; 130(2): 177-183.
3. Kang SF, Liao CH, Chen MC. Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process. Chemosphere. 2002 Feb; 46(6): 923-8.
4. Kim SK, Park PJ, Kim JB, Shahidi F. Purification and characterization of a collagenolytic protease from the filefish, *Novodon modestrus*. J Biochem Mol Biol. 2002 Mar; 35(2): 165-71.
5. Lima ROA, Bazo AP, Salvadori DMF, Rech CM, Oliveira DP, Umbuzeiro GA. Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source. Mutat Res. 2007; 626: 53-60.
6. He C, Yu Y, Hu X, Larbot A. Influence of silver doping on the photo catalytic activity of titania films. Appl Surf Sci. 2002; 200(4): 239-247.
7. Naddafi K, Nabizadeh Nodehi R, Jahangiri rad M. Removal of Reactive Blue 29 Dye from Water by Single-Wall Carbon Nanotubes. Int J Hydrogen Energ. 2011; 3 (1-4): 359-368.
8. Qu B, Zhou J, Xiang X, Zheng C, Zhao H, Zhou X. Adsorption behavior of azo dye C. I. acid red 14 in aqueous solution on surface soils. J Environ Sci. 2008; 20(6): 704-9.
9. Riaz U, Ashraf SM. Semi-conducting poly(1-naphthylamine) nanotubes: A pH independent of sulphonate dyes adsorbent. J Chem Engin. 2011; 174 (2-3): 546-555.
10. Zhang F, Yediler A, Liang X, Kettrup A. Effects of dye additives on the ozonation process and oxidation by-products: a comparative study using hydrolyzed C.I. Reactive Red 120. Dyes Pigments. 2004; 60 (1): 1-7.
11. Errais E, Duplay J, Darragi F, Rabet I, Aubert A, Huber F, et al. Efficient anionic dye adsorption on natural untreated clay: kinetic study and thermodynamic parameters. Desalination. 2011; 275: 74-81.

12. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresour Technol.* 2006 Jun; 97(9): 1061-85.
13. Sadani M, Movahedian-Atar H, Faraji M, Jaberean B, Abouee E. Survey of crude oil toxicity component removal by adsorbition with powdered activated carbon. *J Shahrekord Univ Med Sci.* 2011; 13 (5): 45-54.
14. Lu C, Chiu H. Adsorption of zinc from water with purified carbon nanotubes. *J Chem Engin Sci.* 2006; 61(4): 1138-1145.
15. Gong JL, Wang B, Zeng GM, Yang CP, Niu CG, Niu QY, et al. Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent. *J Hazard Mater.* 2009 May; 164(2-3): 1517-22.
16. Qu S, Huang F, Yu S, Chen G, Kong J. Magnetic removal of dyes from aqueous solution using multi-wallcarbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles. *J Hazard Mate.* 2008; 57: 595-600.
17. Kokol V, Doliska, A., Eichlerova, I., Baldrian, P. and Nerud, F. Decolorization of textile dyes by whole cultures of *Ischnoderma resinosa* and by purified laccase and Mn-peroxidase. *J Enz Microbiol. Technol.* 2007; 40 (7): 1673-1677.
18. Wang KS, Chen HY, Huang LC, Su YC, Chang SC. Degradation of Reactive Black 5 using combined electrochemical degradation-solar-light/immobilized TiO₂ film process and toxicity evaluation. *Chemosphere.* 2008; 72(2): 299-305.
19. Association APH, AWW Association, WE Federation. Standard method for the examination of water & wastewater, 21st ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
20. Ling C, Mohamed A, Bahatia S. Photo degradation of methylene blue dye in aqueous stream. *J Teknol.* 2004; 40: 91-103.
21. Chakrabarti S, Dutta BK. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. *J Hazard Mater.* 2004 Aug; 112(3): 269-78.
22. Lu C, Su F. Adsorption of natural organic matter by carbon nanotubes. *Sep Purif Technol.* 2007; 58 (1): 113-121.
23. Madrakian T, Afkhami A, Ahmadi M, Bagheri H. Removal of some cationic dyes from aqueous solutions using magnetic-modified multi-walled carbon nanotubes. *J Hazard Mater.* 2011 Nov; 196: 109-14.
24. Saadatjou N, Rasoulifard, M. H, Heidari A. Removal of Basic Red 46 using lowcost adsorbent of hardened paste of Portland cement from contaminated water. *J Color Sci Tech.* 2009; 2(4): 221-226
25. Crini G, Badot PM. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *J Prog Polym Sci.* 2008; 33(4): 399-447.
26. Machado FM, Bergmann CP, Fernandes TH, Lima EC, Royer B, Calvete T, et al. Adsorption of Reactive Red M-2BE dye from water solutions by multi-walled carbon nanotubes and activated carbon. *J Hazard Mate.* 2011 Sep; 192(3): 1122-31.
27. Wu CH. Adsorption of reactive dye onto carbon nanotubes: equilibrium, kinetics and thermodynamics. *J Hazard Mater.* 2007 Jun; 144(1-2): 93-100.
28. Qu S, Huang F, Yu S, Chen G, Kong J. Magnetic removal of dyes from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles. *J Hazard Mater.* 2008 Dec; 160(2-3): 643-7.
29. Ehrampoush M, Mahvi A, Fallahzadeh H, Moussavi S. The Evaluation of Efficiency of Multi-Walled Carbon Nanotubes in Humic Acid Adsorption in Acidic Conditions From Aqueous Solution. *TB.* 2013; 11 (3): 79-90.
30. Khorramfar S, Mahmoodi NM, Arami M, Gharanjig K. Dye Removal from Colored Textile Wastewater Using *Tamarindus Indica* Hull: Adsorption Isotherm and Kinetics Study. *J Color Sci technol.* 2009; 3: 81-88.

Study of adsorption isotherms and adsorption kinetics of reactive blue 19 dyes from aqueous solutions by multi -wall carbon nanotubes

Moussavi SP¹, Emamjomeh MM^{2*}

¹Health Dept., International Campus, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, I.R. Iran;

²Qazvin Research Center for Social Determinants of Health (SDH), Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, I.R. Iran

Received: 13/Dec/2012

Accepted: 5/Aug/2013

Background and aims: The Colors are classified as complex toxic organic materials, which are considered as the most important pollutants from the textile wastewater. This study aimed to investigate the feasibility of multi-walled carbon nanotubes use as adsorbents for the adsorption of Reactive Blue 19 from aqueous solutions and examined adsorption isotherms and adsorption kinetics.

Methods: This experimental study was performed discontinuously and studied the effects of the different parameters including contact time, pH, mixing intensity, the initial concentration of the dye, and nanotubes dose on the dye removal of Reactive Blue 19. Experimental data were evaluated with Freundlich and Langmuir isotherm models for adsorption equilibrium and different isotherm models for kinetics of absorption were analyzed by comparing the total number coefficient of samples by the software.

Results: The results showed that the maximum adsorption capacity of reactive blue 19 on multi-wall carbon nanotubes was found to be 7.546 mg/gr in optimal condition. The maximum absorbance in the first 60 min was obtained 3 hrs. By increasing the adsorbent dose from 0.04 to 0.08 g on 100 ml at the initial concentration, removal random for Reactive Blue 19 solution 25 mg/L, the dye removal efficiency was increased from 69.3% to 89.5%. At the optimized pH 4, optimal contact time 3 hrs, the dye removal efficiency was increased from 80.5% to 89.5% while the initial concentration of color was decreased from 75 to 25 mg/L.

Conclusion: Due to the small size, high surface area, regulatory network and Cristal form of unique, high reactivity, and the remarkable function of multi-wall carbon nanotubes as adsorbents for the removal of organic pollutants from water solutions, the results showed that the multi-walled carbon nanotubes are effective adsorbents for the dye removal for reactive blue 19.

Keywords: Multi-wall carbon nanotubes, Adsorption, Reactive blue 19, Isotherm.

Cite this article as: Moussavi SP, Emamjomeh MM. Study of adsorption isotherms and adsorption kinetics of reactive blue 19 dye from aqueous solutions by multi -wall carbon nanotubes. J Shahrekord Univ Med Sci. 2014 Apr, May; 16(1): 72-80.

*Corresponding author:

Qazvin Research Center for Social Determinants of Health (SDH), Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran. .E-mail: m_emamjomeh@yahoo.com. Tel: 00982812237269.